

УДК 004.3

А.А. Баркалов, Р.М. Бабаков
Університет Зеленогурський (Польща),
Донецький національний технічний університет
a.barkalov@iie.uz.zgora.pl, cpld@mail.ru

Операционный автомат переходов с дополненным множеством операций переходов

Предложен подход к построению операционного автомата переходов для случая, когда имеющееся множество операций переходов не может обеспечить все имеющиеся переходы заданной ГСА. Рассмотрен пример построения операционного автомата переходов с дополненным множеством операций переходов.

Управляющий автомат, операционный автомат переходов, операция перехода, логический синтез, граф-схема алгоритма управления

Общая постановка проблемы

Неотъемлемой составной частью современной вычислительной системы является устройство управления (УУ), координирующее работу всех блоков системы и во многом определяющее ее характеристики [1]. УУ может быть реализовано в виде микропрограммного управляющего автомата (УА), в котором функции переходов представляются системой булевых уравнений [2]. Это приводит к нерегулярной схеме УА, что затрудняет ее реализацию в современных элементных базисах [3, 4].

В работах [5] предложен метод реализации переходов между состояниями с использованием арифметико-логических операций над числовым представлением кода состояния. Такой подход позволяет организовать схему формирования переходов УА в виде операционного автомата переходов (ОАП), состоящего из отдельных функциональных блоков, и позволяет использовать стандартные библиотечные элементы САПР для синтеза схемы УА, что может приводить к существенному снижению сложности схемы [6].

В настоящей работе рассматривается случай, когда в ОАП все переходы заданной граф-схеме алгоритма (ГСА) не могут быть реализованы с помощью выбранного множества операций переходов.

Постановка задач и целей исследования

На рис. 1 приведена структурная модель управляющего автомата с операционным автоматом переходов. Операционный автомат переходов образован операционной частью ОЧ и регистром памяти РП. Схема ОЧ формирует код следующего состояния УА A^{t+1} на основании кода

текущего состояния A^t , сигналов логических условий (ЛУ) X и кода операции τ . Схема формирования микроопераций СФМО формирует множество выходных сигналов УА.

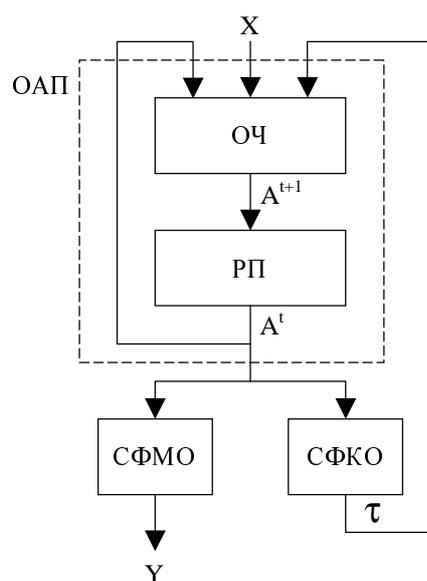


Рисунок 1 - Структурная модель УА с ОАП

С функциональной точки зрения схема ОЧ реализует множество отдельных операций переходов (ОП) $O = \{O_1, \dots, O_U\}$, каждый элемент которого представляет собой некоторую арифметико-логическую операцию над кодом текущего состояния и сигналами ЛУ. Каждой ОП в общем случае ставится в соответствие отдельная комбинационная схема, обычно представляющая собой стандартный функциональный блок (сумматор, сдвигатель и т.п.) или их совокупность. Выбор ОП, выполняющейся в текущем такте работы

устройства, выполняется путем мультиплексирования результатов различных ОП под управлением множества сигналов τ , поступающих из схемы формирования кодов операций СФКО. Функциональная организация схемы ОЧ показана на рис. 2.

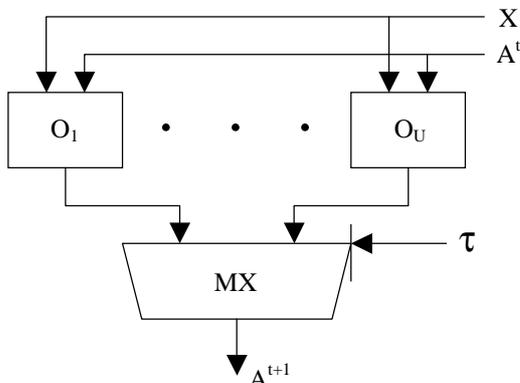


Рисунок 2 - Функциональная схема ОЧ

Существует несколько подходов к синтезу УА с ОАП, одним из которых является формирование кодов состояний на основании заданного множества операций переходов [7]. Выбор таких кодов состояний, при которых все микропрограммные переходы заданной ГСА могут быть реализованы с помощью заданного множества ОП, требует значительных временных затрат и при этом не всегда возможен. Условимся такое множество ОП называть неполным по отношению к имеющемуся множеству микропрограммных переходов.

В настоящей работе предлагается решение научной задачи синтеза схемы УА с ОАП при неполном множестве операций переходов. Целью работы является разработка наиболее общего подхода для решения данной задачи.

Формирование дополненного множества операций переходов в УА с ОАП

Пусть реализуемая ГСА задана множествами состояний $A = \{a_1, \dots, a_M\}$ и множеством переходов $T = \{T_1, \dots, T_{M-1}\}$ (будем полагать, что последнее состояние не имеет исходящего перехода), часть из которых являются условными, часть – безусловными. Исходными данными для синтеза схемы УА будем считать его таблицу переходов. Пусть также задано множество операций переходов O .

Как показывают проведенные авторами исследования, попытка каким-либо образом выбрать коды состояний на основании заданного множества ОП приводит в общем случае к следующему:

1. Часть состояний автомата, образующая подмножество $A_1 \subseteq A$, получает некоторые коды из допустимого диапазона кодов.

2. Оставшиеся состояния, образующие подмножество $A_2 = A \setminus A_1$, не получают кодов и могут быть закодированы различными способами с помощью неиспользованных кодов состояний из допустимого диапазона кодов.

3. Части микропрограммных переходов, образующих подмножество $T_1 \subseteq T$, поставлены в соответствие ОП из множества O .

4. Подмножеству переходов $T_2 = T \setminus T_1$ операции переходов не сопоставлены.

Для синтеза схемы ОЧ следует доопределить коды состояний, образующих множество A_2 , и реализовать переходы, образующие множество T_2 . С этой целью предлагается выполнить следующее.

1. Удалим из таблицы переходов строки, в которых коды исходного состояния и состояния перехода определены, и переходу сопоставлена некоторая операция перехода. Полученную таблицу назовем синтезируемой таблицей переходов (СТП).

2. Закодируем состояния из множества A_2 произвольными кодами из допустимого диапазона.

3. Рассматривая коды состояний как битовые последовательности, построим по СТП систему булевых функций (БФ), реализующую переходы из множества T_2 .

4. Полученную систему БФ будем рассматривать как самостоятельную операцию перехода O_{U+1} . Данная ОП дополняет имеющееся множество ОП таким образом, что все микропрограммные переходы автомата оказываются реализованными. По полученной системе БФ построим комбинационную схему и назначим операции O_{U+1} отдельный код $\tau(U_{U+1})$.

Назовем ОАП с дополняющей ОП, реализующей множество переходов T_2 , операционным автоматом переходов с дополненным множеством операций переходов. Организация его операционной части сходна со схемой на рис. 2.

Достоинством ОАП с дополненным множеством ОП является возможность синтезировать УА по произвольной ГСА при любом заданном множестве ОП. Недостатком является увеличение аппаратных затрат в схеме ОЧ, которые возрастают с увеличением числа переходов, реализуемых дополняющей ОП.

Пример синтеза ОАП с дополненным множеством операций переходов

Рассмотрим пример построения ОАП с дополненным множеством ОП для автомата Мура на примере ГСА G1 (рис. 3), используя методику,

предложенную в [6]. ГСА G1 характеризуется следующими основными параметрами: M=12 микрокоманд a₁-a₁₂ и L=2 анализируемых ЛУ x₁-x₂. Поскольку множество формируемых микроопераций не оказывает принципиального влияния на процесс синтеза устройства, в рассматриваемом примере содержимое операторных вершин не детализировано, и ГСА G носит абстрактный характер.

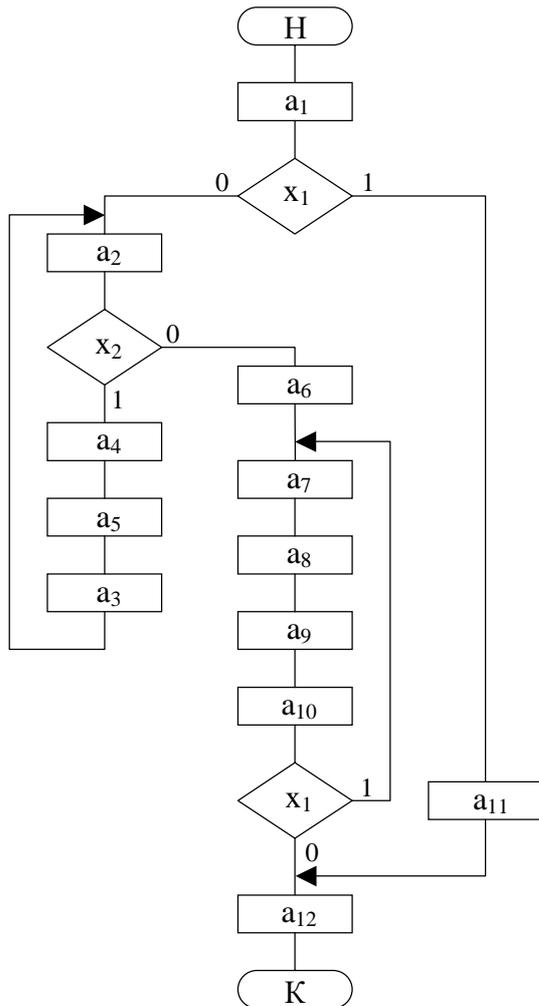


Рисунок 3 - Граф-схема алгоритма G

Пусть задано множество операций переходов O={O₁, O₂, O₃}, элементы которого определены следующим образом:

$$O_1: A^{t+1} = \begin{cases} A^t + 3, \text{ если } x_1 = 0; \\ A^t + 5, \text{ если } x_1 = 1. \end{cases}$$

$$O_2: A^{t+1} = \begin{cases} A^t + 3, \text{ если } x_2 = 0; \\ A^t + 5, \text{ если } x_2 = 1. \end{cases}$$

$$O_3: A^{t+1} = A^t + 3.$$

Применив специальную методику, не рассматриваемую в данной работе, получим таблицу переходов автомата для ГСА G (табл. 1). Таблица включает следующие столбцы: a_i – текущее состояние автомата; K(a_i) – код текущего состояния; ОП – код операции перехода из состояния a_i; a_j – следующее состояние автомата; K(a_j) – код следующего состояния; X – логические условия, проверяемые при переходе из a_i в a_j. В данной таблице всем состояниям сопоставлены некоторые коды, большинству переходов – некоторые операции переходов.

Таблица 1. Таблица переходов автомата (G)

a _i	K(a _i)	ОП	a _j	K(a _j)	X
a ₁	0	O ₁	a ₁₁	5	x ₁
			a ₂	3	\bar{x}_1
a ₂	3	O ₂	a ₄	8	x ₂
			a ₆	6	\bar{x}_2
a ₃	14	*	a ₂	3	1
a ₄	8	O ₃	a ₅	11	1
a ₅	11	O ₃	a ₃	14	1
a ₆	6	O ₃	a ₉	9	1
a ₇	9	O ₃	a ₈	12	1
a ₈	12	O ₃	a ₉	15	1
a ₉	15	*	a ₁₀	4	1
a ₁₀	4	O ₁	a ₇	9	x ₁
			a ₁₂	7	\bar{x}_1
a ₁₁	5	*	a ₁₂	7	1

Отметим, что трем безусловным переходам (из a₃ в a₂, из a₉ в a₁₀, из a₁₁ в a₁₂) операция перехода не сопоставлена, поскольку не позволяет выполнить преобразование K(a^t) в K(a^{t+1}). Дополним множество ОП операцией O₄, реализующей данные незакодированные переходы. Для этого представим коды состояний в виде соответствующих четырехразрядных двоичных кодов, используя для их кодирования двоичные переменные T₁-T₄. Например, K(a₅)=111₁₀=1011₂.

Составим синтезируемую таблицу переходов, в которой коды состояний представлены своими двоичными значениями (табл. 2).

Таблица 2. Синтезируемая таблица переходов (G)

a _i	K(a _i)	ОП	a _j	K(a _j)	D	X
a ₃	1110	*	a ₂	0011	D ₃ D ₄	1
a ₉	1111	*	a ₁₀	0100	D ₂	1
a ₁₁	0101	*	a ₁₂	0111	D ₂ D ₃ D ₄	1

Здесь столбец D содержит функции возбуждения памяти для регистра памяти УА, построенного на базе D-триггеров.

Построим по СТП систему канонических уравнений, описывающих приведенные в таблице переходы в форме ДНФ.

$$D_1 = 0;$$

$$D_2 = T_1 T_2 T_3 T_4 \vee \bar{T}_1 T_2 \bar{T}_3 T_4;$$

$$D_3 = T_1 T_2 T_3 \bar{T}_4 \vee \bar{T}_1 T_2 \bar{T}_3 T_4;$$

$$D_4 = D_3.$$

Построив по данной системе уравнений комбинационную схему, получим функциональный узел, реализующие ОП O_4 . Теперь в табл. 1 вместо «*» следует указать ОП O_4 . Отметим, что комбинационные схемы, реализующие ОП O_1 - O_3 , синтезируются тривиально.

На рис. 4 показан результат проведенной работы.

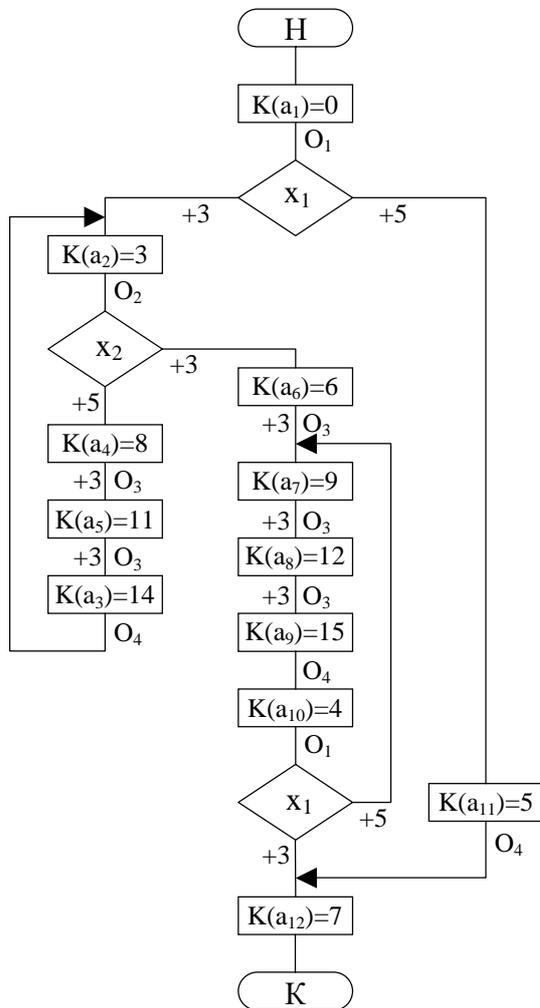


Рисунок 4 - Результат кодирования ГСА G

Для функционирования УА с ОАП следует сформировать содержимое ПЗУ схемы СФКО. Закодируем операции O_1 - O_4 двоичными кодами, используя переменные τ_1, τ_2 : $K(O_1)=00$, $K(O_2)=01$, $K(O_3)=10$, $K(O_4)=11$. Содержимое СФКО формируется на основании кодов состояний, соответствующих адресам ПЗУ, и кодов ОП, соответствующих информационному содержанию. Для ГСА G содержимое ПЗУ схемы СФКО представлено в табл. 3.

Таблица 3. Содержимое ПЗУ схемы СФКО

Адрес (K(a _i))	Данные (τ ₁ , τ ₂)	Адрес (K(a _i))	Данные (τ ₁ , τ ₂)
0000	00	1000	11
0001	**	1001	11
0010	**	1010	**
0011	01	1011	10
0100	01	1100	10
0101	11	1101	**
0110	10	1110	11
0111	**	1111	11

Поясним таблицу 3. По адресу 1011 записано значение 10, поскольку переход из состояния a_5 с кодом 1011 выполняется с помощью ОП O_3 с кодом 10. По адресу 1101 записаны произвольные значения, поскольку код $1101_2=13_{10}$ не сопоставлен ни одному состоянию. По адресу 0111 записаны произвольные значения, поскольку код 0111 соответствует конечному состоянию a_{12} , переход из которого не определен.

Отметим, что дальнейший синтез автомата сводится к синтезу схемы ОЧ согласно рис. 2, и к последующему синтезу схемы УА согласно рис. 1. Содержимое ПЗУ схемы СФМО может быть сформировано лишь после формирования содержимого операторных вершин исходной ГСА.

Выводы

В настоящей работе предложено новое решение задачи синтеза УА с ОАП для случая, когда с помощью заданного множества операций переходов нельзя реализовать все микропрограммные переходы. Предложенный в работе подход не зависит от структуры заданной ГСА и содержимого множества операций переходов, и позволяет универсализировать процесс синтеза логической схемы УА с ОФП.

Список литературы

1. Баранов С.И. Синтез микропрограммных автоматов / С.И. Баранов. – Л.: Энергия, 1979. – 232 с.
2. Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов / В.М. Глушков. – М.: Физматгиз, 1962. – 476 с.
3. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – СПб., БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
4. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / Соловьев В. В. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 638 с.
5. Баркалов А.А., Бабаков Р.М. Организация устройств управления с операционной адресацией | А.А. Баркалов, Р.М. Бабаков // Управляющие системы и машины. – 2008. – №6. – С. 34-39.
6. Баркалов А.А. Операционное формирование кодов состояний в микропрограммных автоматах / А.А. Баркалов, Р.М. Бабаков // Кибернетика и системный анализ. – 2011. – №2. – С. 21-26.
7. Баркалов А.А. Структурное представление процесса синтеза управляющих автоматов с операционным автоматом переходов / А.А. Баркалов, Р.М. Бабаков // Управляющие системы и машины. – 2011. – №3. – С. 47-53.

Надійшла до редколегії 24.01.2011

О.О. БАРКАЛОВ, Р.М. БАБАКОВ

Університет Зеленогурський (Польща),
Донецкий национальный технический университет

A.A. BARKALOV, R.M. BABAKOV

University of Zielona Gora, Poland,
Donetsk National Technical University

**Операционный автомат переходов с доповненою
безліччю операцій переходів**

Запропоновано підхід до побудови операційного автомата переходів для випадку, коли наявна множина операцій переходів не може забезпечити всі наявні переходи заданої ГСА. Розглянуто приклад побудови операційного автомата переходів з доповненою множиною операцій переходів.

керуючий автомат, операційний автомат переходів, операція переходу, логічний синтез, граф-схема алгоритму керування

**The Operational Automaton of Transitions with the
Augmented Set of Transition Operations**

The approach to construction of the operational automaton of transitions for a case when the available set of transition operations cannot provide all available transitions of given flow-chart is offered. The example of building of the operational automaton of transitions with the augmented set of transition operations is considered.

control unit, operational automaton of transitions, transition operation, logical synthesis, flow-chart of control algorithm